

**Contactless determ. of coordinates of points on surface - combining coded light application with phase-shift method using stripes of width corresp. to pattern period**

**Patent number:** DE4120115  
**Publication date:** 1992-12-24  
**Inventor:** STRUTZ TORSTEN DIPL ING (DE)  
**Applicant:** VOLKSWAGENWERK AG (DE)  
**Classification:**  
- international: G01B11/03; G01B11/24  
- european: G01B11/00D  
**Application number:** DE19914120115 19910619  
**Priority number(s):** DE19914120115 19910619

**Abstract of DE4120115**

Parallel stripes are projected optically into the object space while sinusoidal variations of brightness on the surface of the object are detected by a camera. The coordinates of surface points are retrieved with regard to background illumination and stripe contrast as well as by triangulation.

The features of the phase-shift method are combined with those of coded light application using stripes encoded in accordance with their difference.

USE/ADVANTAGE - Esp. in quality control on prodn. lines; phase-shift contour-checking is feasible without problems introduced by periodic stripe pattern.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 41 20 115 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**G 01 B 11/03**  
G 01 B 11/24

⑳ Aktenzeichen: P 41 20 115.9  
㉔ Anmeldetag: 19. 6. 91  
㉕ Offenlegungstag: 24. 12. 92

DE 41 20 115 A 1

㉑ Anmelder:  
Volkswagen AG, 3180 Wolfsburg, DE

㉒ Erfinder:  
Strutz, Torsten, Dipl.-Ing., 3300 Braunschweig, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 39 34 423 C1  
DE 38 43 396 C1  
DE 36 38 941 A1  
US 46 41 972  
US 42 12 073  
EP 02 62 089 A2

BREUCKMANN, B.: Optische 3D-Meßsysteme für  
Online-Anwendungen. In: Technisches Messen  
tm 57, 1990, 1S.389-394;

⑤④ Berührungsfrei arbeitendes Verfahren zur Ermittlung der räumlichen Koordinaten von Objektpunkten

⑤⑦ Das bekannte, mit einem anschließenden Triangulations-  
verfahren verknüpfte Phasenshiftverfahren zur Ermittlung  
der räumlichen Koordinaten von Objektpunkten besitzt den  
Nachteil, daß die Zuordnung der phasenmäßig erfaßten  
Objektpunkte zu einzelnen Perioden des erzeugten Streifen-  
musters in vielen Fällen schwierig ist. Diese Schwierigkeit  
wird erfindungsgemäß dadurch beseitigt, daß die einzelnen  
Streifen des Streifenmusters durch Codierung gekennzeich-  
net werden.

DE 41 20 115 A 1

Die Erfindung betrifft ein Koordinatenmeßverfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein Verfahren dieser Art ist als Phasenshiftverfahren aus dem Beitrag von Zumbrunn "Automated Fast Shape Determination of Diffuse Reflecting Surfaces at Close Range, by Means of Structured Light and Digital Phase Measurement", ISPRS Intercommission Conference, 2.-4. Juni 1987, Interlaken, bekannt und beispielsweise — dort unter Anwendung der Holographie — in der Arbeit "Ein rechnergestütztes Holographiesystem für den industriellen Einsatz" von Breuckmann und Thieme in den VDI-Berichten 552, 9. GESA-Symposium, 9/10.05.1985, im einzelnen beschrieben. Daher braucht auf dieses Verfahren hier nicht in allen Einzelheiten eingegangen zu werden. Das Phasenshiftverfahren arbeitet mit Herstellung und Auswertung periodischer Strahlungsintensitätsverläufe auf Objektoberflächen durch strukturierte Beleuchtung der Objektoberflächen. Ihm schließt sich ein übliches Triangulationsverfahren zur Koordinatenermittlung an. Durch Verwendung beispielsweise eines Projektionsdias mit entsprechender Grauwertverteilung oder Defokussierung eines binären Streifenmusters wird auf der Objektoberfläche eine sinusförmige Intensitätsverteilung, d. h. ein Streifenmuster, erzeugt, und mittels einer CCD-Kamera die lokale Intensität einzelner Punkte im Streifenmuster ermittelt. Daraus wiederum wird die Phasenlage dieser Punkte und aus der Phasenlage die jeweilige Koordinatenbeziehung zugehöriger Objektpunkte durch Triangulation gewonnen. Da die mathematische Beziehung für die sinusförmige Intensitätsverteilung außer der Phasenlage des jeweiligen Punktes im Streifenmuster noch zwei weitere Unbekannte, nämlich die Hintergrundintensität und den Streifenkontrast, enthält, wird das Streifenmuster zusätzlich in zwei weiteren, um bekannte Phasenwinkel verschobenen Positionen aufgenommen, so daß sich die konstanten Werte für Hintergrundintensität und Streifenkontrast ermitteln lassen. Diese Verschiebung des Streifenmusters um zwei vorgegebene Phasenwinkel kann mit Hilfe eines Projektors mit LCD-Shutter auf einfache Weise durch eine Veränderung des Streifenmusters realisiert werden.

Dieses insoweit bekannte Verfahren bietet eine Reihe von bei der Koordinatenermittlung wichtigen Vorteilen. Zum einen ist die Koordinatenerfassung sehr schnell, zum anderen erfolgt sie mit hoher Genauigkeit und hoher Auflösung, da die Phasenlage im Streifenmuster für jedes Bildelement der Kamera bestimmt wird und dies unabhängig von der Anzahl der Streifen ist. Probleme bereitet jedoch die Tatsache, daß nicht ohne weiteres diejenige Periode im Streifenmuster erfaßt wird, in der sich der betrachtete Punkt befindet. Die aus der das Streifenmuster beschreibenden Formel nach der erläuterten Bestimmung von Hintergrundintensität und Streifenkontrast abgeleitete Funktion für die Phase ist nämlich diskontinuierlich ( $2\pi$ -Sprünge) und muß daher "entfaltet" werden. Dies wiederum ist insbesondere dann schwierig, wenn die Oberfläche des Objekts starke oder gar sprunghafte Veränderungen in ihrer Kontur aufweist.

Ein anderes bekanntes, berührungsfrei arbeitendes Verfahren zur Ermittlung der räumlichen Koordinaten von Objektpunkten ist das sogenannte Verfahren des codierten Lichtansatzes (CLA). Nähere Einzelheiten dieses Verfahrens sind einem Aufsatz von Stahs und Wahl in SPIE Vol. 1395 (1990), Seiten 496 und folgende,

zu entnehmen. Vom Prinzip her arbeitet das CLA-Verfahren so, daß mittels eines Projektors individuell codierte parallele Lichtebenen in den Objektraum projiziert sowie von ihnen als Schnitlinien mit dem Objekt erzeugte Profillinien punktweise mittels einer Kamera abgetastet werden. Dies dient der Gewinnung von Meßsignalen für die relative Lage von Objektpunkten auf den Profillinien; aus diesen Meßsignalen sowie aus Daten für Relativlage und Ausrichtung von Projektor, Kamera und Objekt werden dann durch Triangulation die Raumkoordinaten der Punkte der Profillinien und damit der Objektpunkte berechnet.

Damit die Abbildung jeder Profillinie im Kamerabild der zugehörigen, vom Projektor projizierten Lichtebe- ne zugeordnet werden kann, werden die Lichtebenen über einen dualen Code gleichsam numeriert. Dies kann über eine zeitlich aufeinanderfolgende Projektion von Streifenmustern, die jeweils eine Bitebene des Codes darstellen, geschehen. Die verschiedenen Streifenmuster können beispielsweise mit Hilfe eines Projektors erzeugt werden, der einen programmierbaren LCD-Shutter enthält.

Dieses CLA-Verfahren ist zwar schnell und unempfindlich gegenüber Unterschieden der Objektoberflächenbeschaffenheit, Helligkeitsunterschieden an der Objektoberfläche und Oberflächendiskontinuitäten, jedoch ist seine relative Genauigkeit für viele Fälle zu gering.

Der Erfindung liegt demgemäß die Aufgabe zugrunde, ein gattungsgemäßes, nach dem Prinzip des Phasenshiftverfahrens arbeitendes Verfahren zu schaffen, das die diesem innewohnenden Schwierigkeiten hinsichtlich der Zuordnung der Periode des Streifenmusters zu den einzelnen erfaßten Objektpunkten vermeidet.

Die erfindungsgemäße Lösung dieser Aufgabe besteht in den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1, eine vorteilhafte Ausführung beschreibt der Unteranspruch.

Schlagwortartig kann man das erfindungsgemäße Verfahren als sinnvolle Kombination von Merkmalen des Phasenshiftverfahrens mit Merkmalen des CLA-Verfahrens charakterisieren, mit der Folge, daß zwar die Vorteile beider Verfahren erhalten bleiben, jedoch ihre jeweiligen Nachteile vermieden sind.

Die bisher insbesondere bei Sprünge aufweisenden Objektoberflächen schwierige "Entfaltung" der Phasenfunktion beim Phasenshiftverfahren wird in einfacher Weise praktisch unabhängig von der jeweiligen Struktur der Objektoberfläche dadurch vorgenommen, daß Streifen des Streifenmusters, die in ihrer Breite genau einer Periode dieses Musters entsprechen, nach Art des CLA-Verfahrens codiert und damit gekennzeichnet werden.

Mit der Erfindung ist demgemäß ein gattungsgemäßes Verfahren geschaffen, das mit einfachen, bekannten Mitteln das Phasenshiftverfahren hinsichtlich der Zuordnung von Objektpunkten zu Perioden des Streifenmusters optimiert. Angesichts des geringen Geräteaufwands und der erzielbaren hohen Genauigkeit und Geschwindigkeit ist dieses Verfahren besonders für den Einsatz in der taktweisen Fertigung beispielsweise von Automobilen zur Qualitätssicherung geeignet.

#### Patentansprüche

1. Berührungsfrei arbeitendes Verfahren zur Ermittlung der räumlichen Koordinaten von Objektpunkten, insbesondere zur Qualitätskontrolle in der

Fertigung, bei dem nach dem Phasenshiftverfahren mittels eines Projektors parallele Streifen gleichzeitig in den Objektraum projiziert, die durch sie auf der Objektoberfläche hervorgerufene sinusförmige Intensitätsverteilung (Streifenmuster) mittels einer Kamera punktweise zur Gewinnung von Intensitätssignalen für die Punkte erfaßt sowie aus diesen unter Berücksichtigung der Hintergrundintensität und des Streifenkontrasts die Phasenlagen der Punkte im Streifenmuster sowie in einem Triangulationsverfahren daraus die Koordinaten zugehöriger Objektpunkte ermittelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß die in ihrer Breite einer Periode des Streifenmusters entsprechenden Streifen zu ihrer Unterscheidung codiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Codierung nach dem Verfahren des codierten Lichtansatzes erfolgt.

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -